



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Jalan MT Haryono 167 Telp& Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE
PJ-01**

**PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

NAMA : AYU PUSPITASARI
NIM : 0910633003
PROGRAM STUDI : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK
**JUDUL SKRIPSI : RANCANG BANGUN PERALATAN PROTEKSI LAMPU
PENERANGAN JALAN UMUM SATU FASA TERHADAP BAHAYA
SURJA PETIR MENGGUNAKAN PCB (*PRINTED CIRCUIT BOARD*)**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing I

Pembimbing II

Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT.

NIP. 19600701 199002 1 001

Harry Soekotjo D., Dr., Ir., M.Sc.

NIP. 19490309 198602 1 001

**RANCANG BANGUN PERALATAN PROTEKSI LAMPU
PENERANGAN JALAN UMUM SATU FASA TERHADAP BAHAYA
SURJA PETIR MENGGUNAKAN PCB (*PRINTED CIRCUIT BOARD*)**

PUBLIKASI JURNAL SKRIPSI



Disusun oleh:

AYU PUSPITASARI

NIM. 0910633003-63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014

RANCANG BANGUN PERALATAN PROTEKSI LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM SATU FASA TERHADAP BAHAYA SURJA PETIR MENGGUNAKAN PCB (*PRINTED CIRCUIT BOARD*)

Ayu Puspitasari¹, Moch. Dhofir.², Harry Soekotjo Dahlan³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

E-mail: ayupuspitasari697@yahoo.com

Abstrak- Penelitian ini menguraikan tentang rancang bangun peralatan proteksi lampu penerangan jalan umum satu fasa terhadap bahaya surja petir menggunakan PCB (*Printed Circuit Board*). Arester ini dapat digunakan pada kategori I yang memiliki ketahanan terhadap tegangan impuls sebesar 1,5 kV. Pada peralatan listrik tegangan rendah dapat diamankan dengan menggunakan arester berupa susunan elektroda sela udara yang terbuat dari PCB karena mudah dalam rekayasa dan murah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perencanaan arester yang meliputi bentuk geometri elektroda, perubahan jarak sela dan perbesaran dimensi elektroda (panjang sela). Selanjutnya pengujian ketahanan arester terhadap tegangan AC dan analisis *v-t Curve* serta analisis probabilitas tembus arester hasil perancangan. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa perbesaran jarak sela dan panjang sela dapat memotong tegangan impuls sebesar 1,5 kV sesaat sebelum puncak impuls dengan jarak sela 0,3 mm dan panjang sela 20 mm. Semakin tinggi tegangan impuls yang terpotong, maka akan semakin cepat pula waktu potongnya dan didapatkan kepastian tembus lebih dari 95% yaitu sebesar 1,5 kV.

Kata Kunci- *Tegangan impuls, arester sela udara, Probabilitas tembus, v-t Curve.*

I. PENDAHULUAN

Di masa sekarang ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan perkembangan teknologi. Penggunaan peralatan elektronik dan sistem teknologi informasi di bidang perdagangan, industri bahkan rumah tangga terus meningkat. Peralatan ini mempunyai sensitivitas tinggi terhadap tegangan lebih karena dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada peralatan listrik.

Indonesia memiliki tingkat curah hujan dan jumlah hari guruh yang tinggi yaitu pada tahun 2013 terjadi hari guruh sebesar 90 – 200 hari dengan kerapatan petir sebesar 12 sambaran/km². Dari kasus ini menunjukkan bahwa ancaman kerusakan akibat tegangan lebih menjadi lebih besar.

Petir dapat menimbulkan surja yang dapat membahayakan peralatan listrik seperti lampu

penerangan jalan umum (PJU) yang berada dalam zona elektromagnetik nol dimana bahaya medan elektromagnetik paling tinggi. Surja ini bisa masuk ke lampu melalui mekanisme kopling, yaitu kopling konduktif, kopling induktif, dan kopling kapasitif. Keberadaan alat pelindung terhadap tegangan lebih surja petir telah menjadi suatu keharusan. Menurut standar DIN VDE 0110/IEC Publ.664, peralatan listrik tegangan dibagi kedalam empat kategori berdasarkan tingkat (*level*) ketahanan terhadap tegangan impuls. Peralatan kategori IV memiliki ketahanan impuls hingga 6 kV. Kategori III memiliki ketahanan impuls hingga 4 kV. Kategori II memiliki ketahanan impuls hingga 2,5 kV. Kategori I memiliki ketahanan impuls hingga 1,5 kV. Oleh karena itu, peralatan proteksi yang digunakan harus mampu memotong setiap tegangan lebih hingga kurang dari tegangan ketahanan pada masing-masing kategori tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proteksi

Fungsi proteksi adalah untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi. Macam-macam proteksi ada dua yaitu, proteksi internal dan proteksi eksternal.

B. Petir

Suatu fenomena alam yang merupakan pelepasan muatan elektrostatis, dimana muncul berupa kilatan cahaya dan beberapa saat disusul oleh suara yang menggelegar.

C. Parameter petir

Ada empat parameter petir, yaitu arus puncak petir akan menimbulkan kenaikan tegangan di titik pembumian, muatan dari petir akan mengakibatkan pelepasan pada permukaan finial yang tersambar langsung oleh petir, turunan arus terhadap waktu menghasilkan tegangan induksi pada setiap loop, dan yang terakhir parameter energi spesifik akan menimbulkan pemanasan dan efek elektromagnetik pada penghantar yang dilewatinya.

D. Surja Petir

Adalah gejala tegangan lebih transien yang disebabkan oleh sambaran petir. Tegangan lebih tersebut dapat merusak peralatan isolasi serta komponen-komponen dalam sistem tenaga listrik. Jika tingkat tegangan melebihi BIL (*Basic*

Insulation Level) peralatan isolasi serta komponen sistem tenaga listrik yang dipakai akan rusak.

E. Arester Sela Udara

Arester sela udara adalah salah satu komponen pelindung surja. Udara termasuk isolasi jenis gas yang banyak digunakan untuk mengisolasi peralatan listrik tegangan tinggi. Bahan isolasi gas merupakan bahan isolasi yang banyak digunakan karena udara pada keadaan normal merupakan isolator yang sempurna dan juga murah, mudah, sederhana dan mampu memulihkan keadaan sendiri setelah suatu kegagalan.

F. Arester PCB (*Printed Circuit Board*)



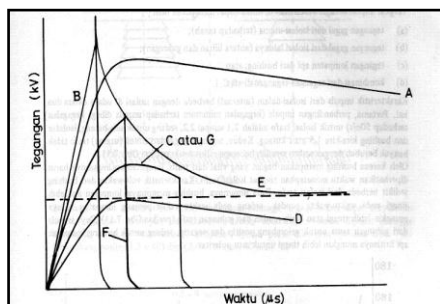
Gambar 1 Arester PCB

Arester PCB (*Printed Circuit Board*) merupakan salah satu inovasi dari arester sela udara dan komponen pelindung surja yang digunakan pada system tegangan rendah. PCB (*Printed Circuit Board*) umumnya digunakan untuk komponen-komponen elektronika tetapi juga dapat menjadi suatu alat proteksi tegangan lebih. Adapun arester PCB hasil perancangan terlihat pada Gambar 1.

G. Karakteristik Tegangan Potong Arester

Arester bekerja berdasarkan tegangan yaitu bila tegangan impuls pada terminal melampaui teraan impulsnya maka arester akan bekerja dengan memotong tegangan lebih tersebut (Mansuri, 2009 : 9). Karakteristik tegangan potong arester merupakan kombinasi dua variabel yaitu tegangan potong dan waktu potong yang akan menghasilkan karakteristik *v-t* dari arester. Karakteristik *v-t* arester sangat berguna sebagai dasar koordinasi isolasi.

H. Pemotongan Tegangan Lebih



Gambar 2 Lengkung volt-waktu

Sumber : Arismunandar, 1983 : 115

Jika ada surja petir datang ke sebuah peralatan, dapat digambarkan gelombangnya

menyerupai karakteristik A pada Gambar 2. Surja yang datang ke peralatan sebagai gelombang curam yang terpotong pada mukanya (karakteristik B) atau sebagai gelombang curam yang terpotong pada ekornya (karakteristik C) atau surja yang datang dapat berbentuk gelombang penuh (karakteristik D). Arester yang ideal adalah arester yang selalu mampu memotong setiap tegangan lebih di bagian muka dan tingkat pemotongan tegangannya selalu sama.

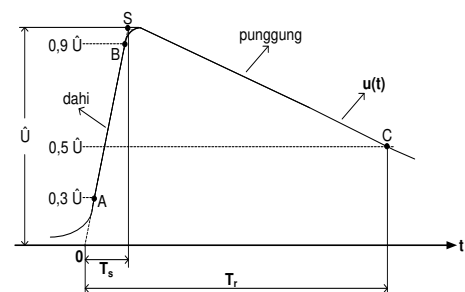
I. Karakteristik volt-waktu (*v-t Curve*)

Karakteristik *v-t* merupakan lengkung yang menghubungkan puncak-puncak tegangan potong sejumlah impuls dengan bentuk tertentu diterapkan pada isolasi dengan kata lain karakteristik *v-t* adalah tempat kedudukan titik-titik dengan koordinat (t_{potong} , V_{potong}).

J. Tegangan Tinggi Impuls

Tegangan impuls diperlukan dalam pengujian tegangan tinggi untuk mensimulasi terpaan akibat tegangan lebih dalam dan luar serta untuk meneliti mekanisme tembus.

Untuk keperluan pengujian di laboratorium, maka tegangan tinggi impuls menggunakan tegangan impuls eksponensial ganda jenis impuls petir dengan karakteristik 1,2/50 μs yang berarti besar waktu dahi $T_s = 1,2 \mu s$ dan waktu paruh punggung $T_r = 50 \mu s$ seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Parameter tegangan impuls surja petir
Sumber : Kind, 1993 : 34

K. Pengaruh Bentuk Geometri Terhadap Tegangan Tembus

Pengaruh bentuk geometri elektroda atau homogenitas medan yang direpresentasikan dalam faktor efisiensi medan terhadap tingkat tegangan tembus, oleh Kind dinyatakan pada persamaan :

$$U_d = E_d \times s \times \eta \quad (2.1)$$

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}} \quad (2.2)$$

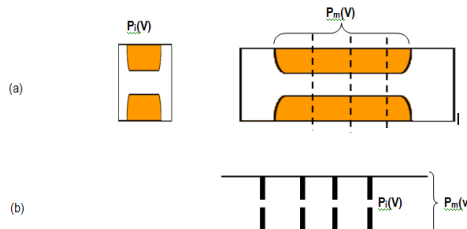
$$E_{rata-rata} = \frac{U_d}{s} \quad (2.3)$$

dengan:

η :efisiensi medan listrik pada susunan elektroda
 $E_{rata-rata}$:kuat medan listrik rata-rata (kV/cm)
 $E_{maksimum}$:kuat medan listrik lokal tertinggi (kV/cm)
 U_d :tegangan tembus pada susunan elektroda (kV)
 s :jarak sela antar elektroda (cm)
 E_d : kuat medan listrik yang menyebabkan terjadinya tembus (kV/cm)

L. Hukum Perbesaran (*Enlargement Law*)

Hukum perbesaran ini mengatakan bahwa reduksi tegangan tembus terjadi ketika sistem isolasi diperbesar (bertambah) dimensinya, yang juga dapat diinterpretasikan sebagai peningkatan jumlah elemen yang mengalami tekanan listrik dalam paralel seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Representasi perbesaran dimensi elektroda

Sumber : Hauschild,W., 1992 : 260

M. Penentuan Nilai Probabilitas dan Distribusi Normal (Gauss)

Fungsi kerapatan probabilitas dari variabel acak menjelaskan frekuensi yang relatif pada nilai yang berbeda terhadap variabel acak. Fungsi kerapatan probabilitas pada distribusi Normal diberikan pada Persamaan (2.4) (Lovric, 789,1738).

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} x \in R \quad (2.4)$$

dengan:

x : Nilai data (kV)

μ : Nilai rata-rata dari seluruh data (kV)

σ : Nilai deviasi standar seluruh data (kV)

Sedangkan untuk mencari nilai mean atau rata-rata μ dan deviasi standar σ dari data-data tersebut adalah (Lovric, 789,1739):

$$\mu = \sum \frac{fx}{f} \quad (2.5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (2.6)$$

dengan:

f : frekuensi data (kV)

x : nilai data (kV)

N : jumlah keseluruhan data

x_i : nilai data pada urutan ke-i (kV)

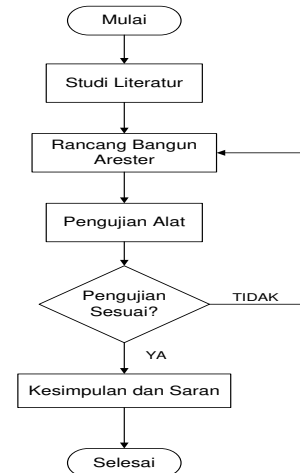
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian

Pada arester ini, variabel yang akan diamati adalah perubahan jarak sela dan perbesaran panjang sela untuk melihat pengaruh tegangan tembusnya.

B. Penarikan Kesimpulan

Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram alir penelitian

IV. PEMBAHASAN DAN HASIL

A. Perkiraan Tegangan Tembus pada Elektroda Sela Udara

Besarnya tegangan tembus, bergantung pada nilai faktor efisiensi, kuat medan, serta jarak sela. Kekuatan dielektrik udara pada impuls sebesar 41 kV/cm atau 4,1 kV/mm. maka perkiraan jarak sela untuk setiap perbesaran panjang sela sebagai berikut.

$$\begin{aligned} U_d &= E_d \times s \times \eta \\ 1,5 &= 4,1 \times s \times 1 \\ 1,5 &= 4,1 \times s \\ s &= \frac{1,5}{4,1} \\ s &= 0,37 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2.12)$$

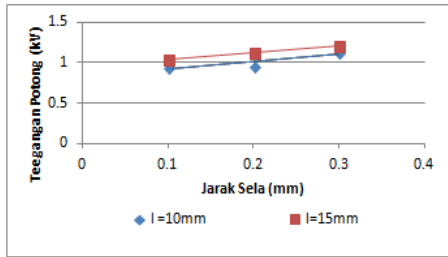
B. Penentuan Karakteristik v-t Hasil Pengujian

Hasil pengujian penentuan karakteristik arester dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data hasil pengujian

NO	Panjang Sela (mm)	Jarak Sela (mm)	Teg.Potong (kV)	Waktu Potong (ns)
1	10	0,1	0,95	100
		0,2	0,97	113
		0,3	1,13	114
2	15	0,1	1,05	114
		0,2	1,12	111
		0,3	1,21	116

Pada Tabel 1 dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan potong dan jarak sela elektroda seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik hubungan tegangan potong terhadap jarak sela

Dapat terlihat bahwa semakin besar jarak sela maka tegangan potong juga semakin tinggi.

Untuk penentuan jarak sela, didapatkan persamaan regresi untuk masing-masing panjang sela.

- $d = 10 \text{ mm}$, $U_d = 2,30s + 0,8367$
- $d = 15 \text{ mm}$, $U_d = 1,81s + 0,9667$

Dari hasil perhitungan dengan U_d sebesar 1,5 kV didapatkan 0,28 mm dan 0,29 mm. Terlihat jarak sela hampir mendekati 0,3 mm.

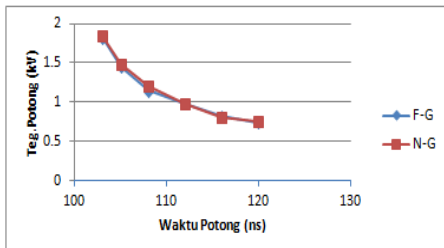
C. Pengujian Arester pada Fasa-Ground dan Netral-Ground

Pada Tabel 2 adalah hasil pengujian pada panjang sela 10 mm dan jarak sela 0,3 mm.

Tabel 2 Data hasil pengujian

	Panjang Sela (mm)	Jarak Sela (mm)	Teg.Puncak Impuls (kV)	Teg.Potong (kV)	Waktu Potong (ns)
F - G	10	0,3	3,34	0,7	120
			5,87	0,8	116
			7,37	1	112
			8,77	1,2	108
			10,8	1,5	105
			13,3	1,8	103
N - G	10	0,3	3,36	0,8	120
			5,82	0,8	116
			7,4	1	112
			8,88	1,2	108
			10,6	1,5	105
			13,2	1,9	103

Dapat dibuat karakteristik v-t arester seperti Gambar 7.



Gambar 7 Karakteristik v-t arester diameter 10mm dan jarak sela 0,3mm

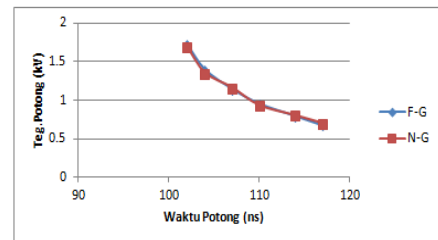
Semakin besar tegangan potong, semakin cepat pula waktu potongnya.

Pada Tabel 3 adalah hasil pengujian pada diameter elektroda 15 mm dan jarak sela 0,3 mm

Tabel 3 Data hasil pengujian

	Panjang Sela (mm)	Jarak Sela (mm)	Teg.Puncak Impuls (kV)	Teg.Potong (kV)	Waktu Potong (ns)
F - G	15	0,3	3,25	0,68	117
			5,79	0,8	114
			7,28	0,96	110
			1,15	1,15	107
			1,4	1,4	104
			1,73	1,73	102
N - G	15	0,3	3,2	0,71	117
			5,77	0,81	114
			7,3	0,94	110
			9,09	1,17	107
			10,6	1,36	104
			13,5	1,7	102

Dapat dibuat karakteristik v-t arester seperti Gambar 8.



Gambar 8 Karakteristik v-t arester panjang sela 15mm dan jarak sela 0,3mm

Semakin besar tegangan potong, semakin cepat pula waktu potongnya.

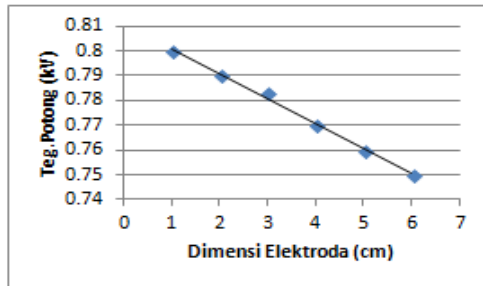
D. Pengaruh Perbesaran Dimensi Terhadap Tegangan Tembus

Pada Tabel 4 adalah hasil pengujian perbesaran dimensi.

Tabel 4 Data hasil pengujian

No.	Dimensi Elektroda (cm)	Teg. Puncak Impuls (kV)	Teg.Potong (kV)	Waktu Potong (ns)
1	1 x 1	1,86	0,8	467
2	2 x 1	1,86	0,79	466
3	3 x 1	1,86	0,78	533
4	4 x 1	1,86	0,77	500
5	5 x 1	1,86	0,76	534
6	6 x 1	1,86	0,75	520

Dapat dibuat grafik perbesaran dimensi seperti Gambar 9.



Dari hasil Gambar 9 didapatkan persamaan regresi untuk tingkat proteksi 1,5 kV.

$$U_d = 0,0341 + 0,8108$$

$$1,5 = 0,0341 + 0,8108$$

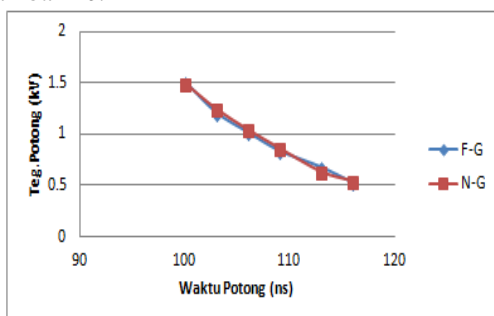
$$l = 20,1 \text{ mm}$$

Setelah didapatkan panjang sela yang sesuai maka dilakukan pengujian. Pada Tabel 5 adalah hasil pengujian pada diameter elektroda 15 mm dan jarak sela 0,3 mm

Tabel 5 Data hasil pengujian

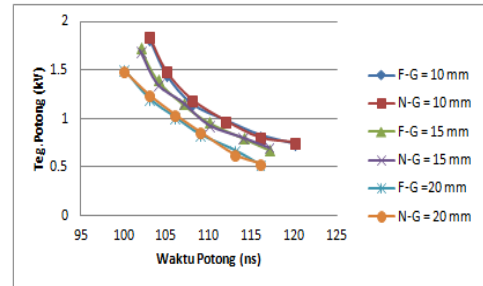
	Panjang Sela (mm)	Jarak Sela (mm)	Teg.Puncak Impuls (kV)	Teg.Potong (kV)	Waktu Potong (ns)
F - G	20	0,3	3,14	0,53	116
			5,53	0,78	113
			7,18	0,84	109
			8,99	1,13	106
			10,89	1,21	103
			13,47	1,51	100
N - G	20	0,3	3,11	0,54	116
			5,6	0,76	113
			7,21	0,84	109
			8,78	1,13	106
			10,65	1,28	103
			13,43	1,49	100

Dapat dibuat karakteristik v-t arester seperti Gambar 10.



Gambar 10 Karakteristik v-t arester diameter 20mm dan jarak sela 0,3mm

Semakin besar tegangan potong, semakin cepat pula waktu potongnya. Gambar 11 menunjukkan karakteristik v-t diameter 10 mm, 15 mm, dan 20 mm.



Gambar 11 Karakteristik v-t arester diameter 10 mm , 15 mm, dan 20 mm dengan jarak sela 0,3mm

Dapat disimpulkan bahwa, pada setiap pengujian terlihat bahwa semakin besar tegangan potongnya waktu potong juga semakin kecil.

E. Pengujian Ketahanan Arestor PCB Terhadap Tegangan AC

Pada pengujian ini, arester PCB diberi tegangan 380 V selama 5 menit untuk mengetahui ketahanan arester. Terlihat pada arester, memiliki ketahanan yang baik. Terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Pengujian arester

F. Probabilitas Tembus pada Pengujian Tegangan Tinggi Impuls

Pada Tabel 6 menunjukkan probabilitas tembus dengan diameter 15 mm.

Tabel 6 Hasil pengujian

No.	Ud (kV)	Pengujian ke-										P (Ud) %
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	#	
1	0,34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0
2	0,67	√	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
3	1,04	√	x	x	√	√	√	x	√	x	x	50
4	1,11	√	x	√	√	√	√	√	x	x	√	70
5	1,21	√	√	√	x	√	√	x	√	√	√	80
6	1,32	√	√	√	√	x	√	√	√	√	√	90
7	1,54	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

Didapatkan nilai mean μ dan nilai deviasi standar σ , sesuai Persamaan (2.5) dan (2.6) yaitu $\mu = 1,29 \text{ kV}$ dan $\sigma = 0,19$. Dapat dihitung probabilitas tembus dengan menggunakan Persamaan (2.4).

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} x \in R$$

Nilai tegangan tembus yang memberikan tegangan tembus 95% yaitu :

$$0,95 = \frac{1}{0,19\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(U_d - 1,26)^2}{2(0,15)^2}}$$

$$0,95 \times 0,15 \times \sqrt{2\pi} = e^{\frac{(U_d - 1,26)^2}{2(0,15)^2}}$$

$$\ln 0,3571 = e^{\frac{(U_d - 1,26)^2}{2(0,15)^2}} \ln e$$

$$2(0,15)^2 \cdot 1,0297 = (U_d - 1,29)^2$$

$$U_d = 1,46 \text{ kV}$$

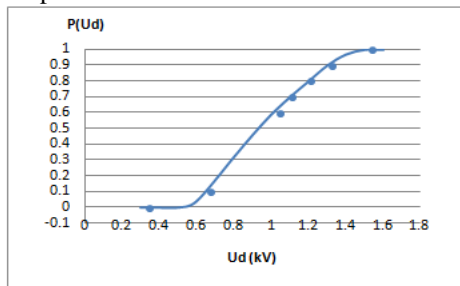
Sehingga dengan perhitungan yang sama nilai-nilai karakteristik yang penting akan didapatkan:

$$U_{d-5} = 0,65 \text{ kV}$$

$$U_{d-50} = 0,94 \text{ kV}$$

$$U_{d-95} = 1,46 \text{ kV}$$

Dapat dibuat grafik probabilitas tembus seperti pada Gambar 13.



Gambar 13 Grafik probabilitas tembus untuk diameter elektroda 15 mm

Dari Gambar 13 menunjukkan bahwa kurva S pada probabilitas tembus pada $U_{d-95} = 1,46 \text{ kV}$ dengan nilai mean $\mu = 1,26 \text{ kV}$ dan deviasi standar $\sigma = 0,15$.

Data-data diatas menunjukkan bahwa ketika tegangan berada pada level tegangan U_{d-5} secara teori elektroda belum bekerja. Pada saat level tegangan U_{d-50} , nilai probabilitas menunjukkan angka sebesar 50%. Sedangkan pada level tegangan U_{d-95} artinya tembus terjadi pada tegangan ini dengan probabilitas sebesar 95% dan dengan cara yang sama dapat dihitung untuk diameter 10 mm dan 20 mm.

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pengujian dan analisis, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan level proteksi 1,5 kV variabel penelitian yang dilakukan yaitu dengan merubah jarak sela, setelah itu dilakukan pengujian untuk mendapatkan level proteksi yang sesuai. Apabila tidak sesuai dilakukan perbesaran dimensi elektroda (panjang sela) dan dilakukan pengujian lagi hingga mendapatkan level proteksi yang sesuai. Lalu dilakukan analisis v-t curve untuk mendapatkan waktu

potong dan tegangan potong, serta menganalisis probabilitas tembus arester perancangan.

2. Dimensi arester PCB yang memberikan level proteksi 1,5 kV adalah dengan jarak sela udara sebesar 0,3 mm dan panjang sela sebesar 20 mm.
3. Pada pengujian v-t curve, menunjukkan bahwa arester PCB selalu memotong di bagian muka gelombang impuls. Pada tegangan dengan amplitudo sebesar 13 kV mampu memotong dalam waktu 100 ns.
4. Pada kurva probabilitas tembus menunjukkan bahwa arester PCB akan memotong tegangan impuls dengan amplitudo sebesar 1,5 kV dengan probabilitas tembus sebesar 100%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A., Prof. Dr. 1983. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Hauschild, W, Mosch, W.1992. *Statistical Techniques for High Voltage Engineering*, London: Peter Peregrinus Ltd.
- Kind, Dieter.1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Kuffel, E., Zaengl, W.S. 1984. *High Voltage Engineering*. London: Pergamon Press.
- Naidu,M.S., Kamaraju, V. 1982. *High Voltage Engineerin*. New Delhi:Tata Mc. Graw-Hill Publishing Co.Ltd.
- Hasse, Peter.2008. *Overvoltage Protection of Low Voltage Systems*. UK: Lightning Source UK Ltd.
- Sirait,K.T. dan Zorro (1987). *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*.Bandung: ITB.